Health Canada Santé Canada

Safety Requirements and Guidance for Analytical X-Ray Equipment

Safety Code 32

Canada

101-04494/

Safety Requirements and Guidance for Analytical X-Ray Equipment

Safety Code 32*

Environmental Health Directorate
Health Protection Branch

Published by authority of the Minister
of National Health and Welfare

Également disponible en français sous le titre
Appareils d'analyse aux rayons X – Exigences et recommandations en matière de sécurité – Code de sécurité 32

*Safety Code 32 supersedes Safety Code 19 – Recommended Safety Procedures for the Selection, Installation and Use of X-Ray Diffraction Equipment.

94-EHD-186

© Minister of Supply and Services Canada 1994
Available in Canada through your local bookseller
or by mail from:
Canada Communications Group–Publishing
Ottawa, Canada K1A 0S9

Cat. H46-2/94-186E
ISBN 0-660-15602-4

Canadian Cataloguing in Publication Data

Main entry under title:

Safety Requirements and Guidance for Analytical X-Ray Equipment (Safety Code 32)

Publ. aussi disponible en français sous le titre :
Appareils d'analyse aux rayons-X – exigences et recommandations en matière de sécurité
"Safety Code 32 supersedes Safety Code 19".
Includes bibliographical references.
Cat. No. H46-2/94-186E
ISBN 0-660-15602-4

1. X-ray spectroscopy – Safety Measures.
2. X-rays – Diffraction – Safety measures.
3. X-rays – Equipment and Supplies – Safety measures.
I. Canada. Environmental Health Directorate.
II. Series

QC482.S6S33 1994 539.7'222 C94-980252-2

Foreword

While the term *analytical x-ray equipment* generally refers to all types of x-ray diffraction and spectrographic systems designed primarily for performing microscopic examinations or analyzing x-ray spectra of matter at the atomic or crystalline level, it is used in this Safety Code to mean those systems that contain an x-ray tube (or sealed demountable tower) as the source of ionizing radiation. X-ray diffraction systems disperse monochromatic radiation and are typically operated in the range of 20-60 kVp. Spectrographic systems disperse polychromatic radiation and are typically operated at potentials in the range of 25-100 kVp.

This Safety Code is prepared under authority of Treasury Board Standards[1] and may be used by facilities subject to Canada Labour Code Part IV.[2] It provides information on regulatory requirements and guidance necessary to ensure that the risks from analytical x-ray equipment remain low (i.e., the same as the risks from unavoidable natural background radiation). This approach is in accordance with the 1990 International Commission on Radiological Protection (ICRP) objectives[3] to prevent the occurrence of deterministic effects (those for which the severity of a biological effect increases with dose) and to reduce the incidence of stochastic (random) effects (those for which the probability of occurrence increases with dose but the severity does not depend on the magnitude of the absorbed dose) to acceptable levels.

This publication is intended to minimize or avoid the radiation exposures potentially associated with analytical x-ray equipment. It provides information on regulatory requirements and safety procedures, and outlines specific responsibilities for the

- equipment owner, meaning a person, organization, or institution having title to or administrative control over one or more facilities having source(s) of ionizing radiation;
- equipment users;
- maintenance personnel, meaning specifically trained persons employed by the equipment manufacturer or its authorized agent(s) to undertake service functions; and
- radiation safety specialists (analysts and inspectors as defined in the Radiation Emitting Devices (RED) Act).[4]

This document supersedes Safety Code 19 – Recommended safety procedures for the selection, installation and use of x-ray diffraction equipment.[5]

This document may be adopted for use elsewhere. Facilities should consult their appropriate regulatory authority provided in Appendix III because of differences in provincial and territorial statutes and requirements.

This publication was prepared by H.P. Maharaj in accordance with the Radiation Protection Bureau internal and external review, and approval criteria. All agencies, organizations and individuals whose comments and suggestions helped in the preparation of this publication are gratefully acknowledged.

Interpretation or elaboration on any point in this Safety Code may be obtained from the X-Ray Section, Radiation Protection Bureau, 775 Brookfield Road, Ottawa, Ontario, K1A 1C1.

Table of Contents

		Page
	Foreword	3
1.	**Introduction**	7
2.	**Intent of This Safety Code**	9
3.	**Radiation Safety Requirements and Responsibilities**	10
3.1	Regulatory Standards and New Equipment	10
3.2	Requirements for Used Equipment	11
3.3	Facility Safeguards Requirements	13
3.3.1	Pre-operational and Maintenance Measures	13
3.3.1.1	Pre-operational Safety Checks	14
3.3.1.2	Maintenance Measures	14
3.4	Human Considerations	15
3.4.1	Equipment Owner Responsibilities	15
3.4.2	User Responsibilities	17
3.4.3	Maintenance Personnel Responsibilities	17
3.5	Radiation Protection Surveys	18
3.6	Guidance on Operational Safety	20
3.7	Personal Exposure Monitoring	21
References		22
Appendices		
I	Recommended Maximum Permissible Dose Equivalent Limits for Ionizing Radiation	25
II	Guidance on Survey Instrumentation	26
III	Provincial and Territorial Agencies Responsible for Radiation Safety	29

1. Introduction

X rays are short-wavelength electromagnetic radiations that can undergo various interactions with matter. Such interactions yield data which, when appropriately analyzed, can provide useful information on the materials irradiated. Machines, typically x-ray diffraction devices and x-ray spectrometers, have been designed to utilize very intense x-ray beams in order to facilitate microscopic examinations or atomic analyses of materials in industry, research laboratories and educational institutions. These machines are generally referred to in this Safety Code as analytical x-ray equipment.

X rays are ionizing radiation that can cause adverse biological effects such as cancer and leukemia. While a brief exposure to the hands in the primary beam of analytical x-ray equipment may not present any clinically observable effects over a short- or long-term period in some individuals, the effect in other individuals may result in mild skin discoloration, which subsequently could develop into a burn, dermatitis and possibly progress to a cancer. Radiation exposures may be considered acute or chronic. Acute exposures are those for which relatively large radiation doses are delivered within short time periods, and the resulting adverse biological effects are manifested in a time frame approximately in an inverse relation to the dose incurred. Chronic exposures are those for which small doses are delivered, more or less uniformly, over long time periods, and the resulting adverse biological effects are more subtle and may develop within years or decades. Recovery from radiation insult depends on many factors including but not limited to, the radiosensitivity of the tissue(s) or organ(s) irradiated, the relative biological effectiveness (RBE) of the radiation, the age and sex of the individual, the dose incurred and the time in which it was delivered. While experimental evidence suggests cellular recovery occurs for low doses incurred over long time periods, such mechanisms may be imperfect, and this could eventually lead to late health effects of radiation such as induction of cancer (carcinogenesis), degenerative diseases (e.g., cataracts), and genetically determined ill-health and developmental

abnormalities in the progeny of exposed individuals. Thus, radiation exposure could present immediate and late health effects. In common with other types of man-made ionizing radiation sources used in medicine, industry, research and consumer products, there are potential radiation hazards associated with analytical x-ray equipment.

In recognition of the widespread applications of ionizing radiation to mankind worldwide and the potential adverse human health effects, the International Commission on Radiological Protection (ICRP 1991)[3] has recommended a system of radiological protection which, when followed, would ensure that the risks from ionizing radiation use remain low. The ICRP recommended dose equivalent limits (Appendix I) are based on the prevention of deterministic effects by keeping radiation doses below the relevant threshold, and on the demand that all reasonable steps be taken to reduce the incidence of stochastic effects to acceptable levels. (Deterministic effects are those for which the severity of a biological effect increases with dose; and stochastic effects are those for which the probability of occurrences increases with absorbed dose, but the severity does not depend on the dose.) In this context, analytical x-ray equipment must be designed and constructed to conform with regulatory standards, and persons who install, use and maintain them *must* know the x-ray hazards inherent with such equipment and adhere to recommended procedures.

2. Intent of This Safety Code

This Safety Code provides requirements and guidance intended to ensure that the radiation risks from analytical x-ray equipment remain low (i.e., the same as the risks from unavoidable natural background radiation). Specific responsibilities for the equipment owner (defined in the foreword), user and maintenance personnel are outlined. Information on safety procedures, standards, surveillance and monitoring is also provided.

3. Radiation Safety Requirements and Responsibilities

Within the scope of the 1990 ICRP objectives, analytical x-ray equipment must conform with applicable regulatory standards and facility requirements, and persons associated with the equipment ownership, use and maintenance must strictly adhere to their respective responsibilities.

3.1 Regulatory Standards and New Equipment

All new analytical x-ray equipment sold in Canada ***must*** conform to the Radiation Emitting Devices (RED) Regulations[6] at the time of sale. Depending on the analytical x-ray equipment design, Part XIV or Part XV of Schedule II of the RED Regulations may apply. These regulations are promulgated under the RED Act,[4] and it is the responsibility of the manufacturer or distributor to ensure that the equipment conforms to the applicable regulations. Since the regulations are subject to amendments in order to reflect changes in technology, information on their current applicability may be obtained by contacting the X-Ray Section, Radiation Protection Bureau, 775 Brookfield Road, Ottawa, Ontario, K1A 1C1.

When selecting or procuring analytical x-ray equipment, the equipment owner is well advised to obtain a copy of the most recent regulations to familiarize oneself with the requirements, and to enquire of the intended manufacturer or importer if the product complies with those current regulations. (These actions may eliminate or minimize the need for modifications to the equipment. Such modifications may be costly and cause considerable inconvenience because of disruption in service.)

3.2 Requirements for Used Equipment*

Equipment manufactured prior to the advent of design guidelines presents a number of safety deficiencies when compared to current standards,[7] and some equipment has been decommissioned as a result. Although equipment presented with fewer deficiencies is in general less costly and often practical to upgrade, absolute safety cannot be assured; however, a reasonable level of safety can be achieved by following the operational instructions specified in the equipment manual and the safe working procedures and guidelines outlined in this Code. In addition, operationally used equipment must be equipped with the following minimum requirements:

1. Control panel
   - (i) A keylock control switch or an alternate device must be installed to prevent unauthorized use.
   - (ii) A power ON/OFF switch must be installed to energize the equipment.
   - (iii) A warning sign that reads "Caution x rays. This equipment produces high intensity x rays when energized. To be used and serviced by qualified personnel only." and where appropriate, its French equivalent: " Attention Rayons X. Cet équipement émet un rayonnement X de haute intensité. Il ne doit être utilisé que par du personnel qualifié." The sign(s) should be placed, preferably, next to the power ON/OFF switch and must be clearly legible at a distance of 2 metres and be clearly visible at any time.
   - (iv) An x-ray ON/OFF switch must be installed.
   - (v) All lights, meters, controls and other indicators must be properly labelled and marked as to function.
   - (vi) Separate fail-safe light indicators must be present to indicate when the x-ray tube is energized and when x rays are being produced. For equipment designed with a single control panel that operates more than one x-ray tube, each tube must be equipped with its separate fail-safe light indicators (of the type just described) to show when it is energized and producing x rays. Tubes not in use must be disconnected to prevent them from becoming energized or be removed from the equipment.

* The term 'used equipment' means equipment not under the original manufacturer's warranty issued at the time of initial purchase.

2. Shutters and beam ports
   - (i) Warning indicators must be installed to indicate the open/shut status of shutters. Shutter mechanisms must be interlocked with x-ray production. Shutters should normally be in the closed position and positive action required to open them, and unused shutters must be secured to prevent casual opening. Unused beam ports should be permanently blocked-off with lead.
3. Shields
   - (i) Primary beams transmitted beyond the detector must be attenuated by a beam stop or trap or other permanent shield that is positioned closest to the equipment to confine the beam, and that does not permit radiation levels to exceed 0.5 mR [~ 4.39 μGy air kerma] per hour at 5.0 centimetres from its external surface.
   - (ii) For any equipment operating under open beam configurations (i.e., where the primary beam may be incident on the extremities or organs in the upper chest and facial regions, and where stray radiation fields are in excess of permissible limits) access to such radiation fields must be restricted. In addition to the facility safeguard requirements in section 3.3, such equipment may need to be placed in a physical enclosure that contains:
     - (a) lead-glass or equivalent material (e.g., lead-acrylic copolymer) of sufficient thickness to attenuate existing radiation levels to 0.5 mR [~ 4.39 μGy air kerma] per hour at 5.0 centimetres from all externally accessible surfaces of the enclosure, when the equipment is operated at its maximum ratings;
     - (b) sliding door(s) or similar access openings to facilitate safe set-up procedures;
     - (c) an automatic shut-off or appropriate audible alarm to alert personnel of intrusion into a high radiation zone when any sliding door(s) or similar access opening is not in the closed position; and
     - (d) a warning sign of the type described in section 3.2.(1)(iii), that is clearly visible at any time on a part of the sliding door(s) or similar access opening.
4. Interlocks
   - (i) Where appropriate and feasible, fail-safe interlocks should be installed on accessories or components for which their removal would cause direct access to the primary beam or to high radiation areas on the equipment.

3.3 Facility Safeguards Requirements

Potential sources of stray radiation have been identified through surveys to be defective parts, poorly fitting accessories causing unshielded gaps, and tube rectifiers on x-ray diffraction devices, especially amongst equipment manufactured before regulatory control was imposed; often the levels are orders of magnitude higher than permissible limits. In a number of cases equipment presented with such problems was improperly secured and/or identified, and this potentially increases the risk of unnecessary radiation exposure.

In order to achieve an acceptable standard of protection, facilities must include the following safeguards:

1. Proper isolation and designation of analytical x-ray equipment
   (i) Allocate a room, or portion thereof, for the equipment.
   (ii) Permanently affix on the outside of the room, on the door that provides access to the equipment, the appropriate x-ray warning sign shown below. The sign must be clearly legible and visible at a distance of 2 metres to personnel approaching the room door.

2. Restricted access

Access to rooms in which analytical x-ray equipment is in use must be restricted strictly to the equipment users and other authorized personnel.

3.3.1 Pre-operational and Maintenance Measures

The reliability and safety of any physical system decreases with age and use because of component wear or corrosion effects.[8,9] In order to ensure safe and reliable operation of analytical x-ray equipment in every facility, the user must routinely conduct certain pre-operational safety checks on components critical to x-ray safety, and the equipment owner or designee must establish and implement a suitable preventive maintenance program. These measures should account for the age and frequency of use of the specific equipment.

3.3.1.1 Pre-operational Safety Checks

When analytical x-ray equipment is installed and whenever maintenance functions are performed on it or on its accessory components, the user must consult section 3.4.2 of this Code, and conduct examinations or tests that ensure:

(i) the proper functioning of all protective and safety devices;
(ii) the proper assembly and functioning of all radiation shields, beam ports, accessories and fittings;
(iii) the ambient radiation levels are within the permissible regulatory limit (0.5 mR [~ 4.39 μGy air kerma] per hour at 5.0 centimetres from all the external surfaces of the equipment) by using an appropriate survey meter (see Appendix II for guidance) provided by the equipment owner or the designee; and
(iv) any safety by-pass procedures are of the one time actuation and revert back to a fail-safe situation at start-up time of the x-ray generator.

3.3.1.2 Maintenance Measures

Hazardous x-ray exposures can be significantly reduced or eliminated when maintenance procedures are in accordance with the manufacturer's guidelines specified in the service manual. Maintenance personnel must observe the following procedures while ensuring that unauthorized individuals are not near the x-ray equipment during servicing:

(i) test all protective and safety devices and ensure their proper functioning. If by-passing a safety device is deemed essential to facilitate a specific maintenance task, the following requirements are **mandatory**:
   (a) install a flashing red light or intermittent sound signal that is clearly visible or audible to a person with normal or corrected vision and hearing proximal to that part of the equipment where the safety device was altered,
   (b) attach, near the flashing red light or intermittent sound signal, a written notice that indicates explicitly what safety device was altered,
   (c) use an appropriate survey meter if radiation emissions are potentially associated with the intended task, and ensure that the permissible limits are not exceeded (see section 3.4.3 for guidance reference levels for body organs), and

(d) ensure that the safety device is re-established and any shielding removed or modified to facilitate the intended task is replaced after the task is completed;

(ii) examine all radiation shields, beam ports, shutters, accessories and fittings for proper installation and function; and

(iii) monitor the radiation levels nearest that part of the equipment where maintenance functions will be carried out, before and after the maintenance function(s). Use an appropriate survey meter (either provided by the equipment owner or oneself), and observe the guidance reference limits suggested in section 3.4.3 for body organs and the permissible levels established for the performance of the equipment (see section 3.3.1.1(iii)).

3.4 Human Considerations

If radiation risks are to remain low in conformity with the ICRP objectives, personnel in every facility at which analytical x-ray equipment is installed for use must strictly adhere to the responsibilities charged to them. The respective responsibilities affecting equipment ownership, use and maintenance are indicated below.

3.4.1 Equipment Owner Responsibilities

The ultimate responsibility for the radiation safety of analytical x-ray equipment rests with the equipment owner. **The equipment owner is defined as a person, organization, or institution having title to or administrative control over one or more facilities having source(s) of ionizing radiation.** The equipment owner must ensure that the analytical x-ray equipment meets all applicable radiation safety standards. For some applications, this responsibility may be delegated to staff (e.g., a senior user or the facility health and safety officer, henceforth, called the equipment owner designee). In every facility where analytical x-ray equipment is in use, the equipment owner or designee is responsible for:

1. ensuring that the equipment is installed in accordance with the requirements set out in section 3.3 of this Safety Code;
2. ensuring that all users have received training on the proper operation and x-ray hazards appropriate to the analytical x-ray equipment installed;

3. prescribing and posting prominently near the x-ray equipment radiation safety rules, and safe operating and emergency procedures which shall include address information and contact details of a hospital or clinic where medical treatment can be administered;
4. making readily available a copy of this Safety Code for reference by users and maintenance personnel;
5. implementing a system of verification, supervision and periodic review to ensure that all users and maintenance personnel have received adequate training, and have read and understood the relevant parts of this Safety Code, the applicable radiation safety rules, safe operating and emergency procedures before using and servicing the analytical x-ray equipment;
6. establishing a maintenance program, taking into account the age and frequency of use, that ensures all safety devices and components critical to both x-ray production and shielding, are routinely checked and defective parts replaced or repaired;
7. providing an appropriate survey meter, and ensuring that it is in a working and functional condition at all times for use by users and maintenance personnel;
8. conducting prompt investigations of all radiation overexposures and accidents, and submitting appropriate reports to the equipment owner or designee and to the appropriate radiation protection regulatory authority within 5 calendar days;
9. ensuring that victims of radiation overexposures receive specialized medical attention (e.g., consultation with a radiation oncologist or physician knowledgeable in human biological effects of ionizing radiation);
10. determining the appropriate corrective measures following radiation overexposures, unsafe events and accidents, and ensuring that such measures are implemented effectively; and
11. ensuring that, during a radiation protection survey, a copy of the most recent survey report including summaries of corrective measures recommended and instituted on the equipment, is readily available to the radiation inspector.

3.4.2 User Responsibilities

All users of analytical x-ray equipment must:

1. receive training, authorized or approved by the equipment owner or designee, on the operation and x-ray hazards relevant to the particular analytical x-ray equipment intended for use;
2. have read, understood and follow all applicable radiation safety rules and emergency procedures that are prescribed by the equipment owner or designee and by the appropriate radiation protection regulatory authority, before operating the analytical x-ray equipment;
3. wear personal radiation monitors consistent with the equipment design and operation (see section 3.7 of this Code) and as recommended by the regulatory radiation protection authority;
4. perform regular reviews of their own personal dosimetry data and identify unexpected radiation exposures, investigate them as to root cause(s) and implement appropriate corrective action(s);
5. use an appropriate survey meter to identify and monitor radiation levels at critical areas (tube housing, beam ports, shutters, analysis accessories, etc.) of the equipment during set up and beam alignment procedures, and following modifications and alterations to the device or its accessories, and to ensure that compliance with the regulatory limit (0.5 mR [~ 4.39 μGy air kerma] per hour at 5.0 cm from any external surface of the equipment) is maintained, and that the guidance levels (indicated in section 3.6) including the permissible dose limits (Appendix I) would not be exceeded under routine operational conditions of the equipment;
6. conduct the pre-operational safety checks indicated in section 3.3.1.1 of this Code; and
7. stop the operation of the analytical x-ray equipment if any unsafe operational conditions arise, and immediately notify the equipment owner or designee of such conditions.

3.4.3 Maintenance Personnel Responsibilities

All personnel responsible for the maintenance of analytical x-ray equipment must:

1. be adequately trained in the proper maintenance and repair of the various analytical x-ray equipment for which they are responsible, with emphasis on maintenance operations that may require x-ray production;

2. have read, understood and follow all radiation safety rules, requirements and emergency procedures applicable to the analytical x-ray equipment and the facility, including sections 3.6 and 3.7 of this Code;
3. wear personal radiation dosimeters to monitor separately whole body and extremity doses as deemed appropriate for the operation(s) being undertaken;
4. use a properly functioning radiation survey meter (supplied by the equipment owner or oneself) to identify and monitor the radiation levels at critical areas (tube housing, beam ports, shutters, analysis accessories, etc.) of the equipment during set up, beam alignment and maintenance procedures, and following modifications and alterations to the device or its accessories;
5. undertake precautionary measures to eliminate or reduce radiation levels (measured according to clause 3.4.3.4) to ensure that the regulatory limit (0.5 mR [~ 4.39 μGy air kerma] per hour at 5.0 cm from any external surface of the equipment) is met, and that the guidance levels (indicated in section 3.6) including the permissible dose limits (Appendix I) would not be exceeded during routine operational conditions of the equipment;
6. perform regular reviews of their own personal dosimetry data and identify unexpected radiation exposures, investigate them as to root cause(s) and implement appropriate corrective action(s) as may be necessary;
7. provide the user and the equipment owner or designee with a written report that specifies explicitly any user procedure or action that could lead to an x-ray safety hazard, as soon as such a procedure or action is identified;
8. consult and adhere to the maintenance procedures indicated in section 3.3.1.2 of this Code;
9. supervise the work of maintenance personnel in training; and
10. prevent the operation of the analytical x-ray equipment if any unsafe operational conditions arise, and immediately notify the equipment owner or designee of such conditions.

3.5 Radiation Protection Surveys

A radiation protection survey of analytical x-ray equipment is intended to determine whether the equipment functions according to applicable design and performance standards and is used and maintained in a way that provides maximum x-ray safety to all persons. In order to achieve these objectives, the following requirements apply to all facilities:

1. Analytical x-ray equipment must be surveyed when it is initially installed, and when maintenance, modification, damage and overexposure accidents have occurred on it.
2. Surveys must be performed by the appropriate radiation protection regulatory agency. However, authorized equivalents may be permitted provided that prior approval has been obtained from the appropriate regulatory authority.
3. Routine surveys of analytical x-ray equipment should be conducted at a frequency that depends on the particular equipment design, conditions of use, and performance history. The survey frequency may be based on consultation with the appropriate radiation protection regulatory authority.
4. Surveys of analytical x-ray equipment must include:
   (i) a thorough inspection of all safety devices and radiation shields;
   (ii) stray radiation measurements carried out under worst-case (if feasible) user conditions around the system;
   (iii) proper quantification of stray radiation levels above the regulatory limit and their exact distance specification of the area or location on the x-ray equipment where they were found;
   (iv) an assessment of occupational and public exposures when radiation levels have exceeded the regulatory limit;
   (v) audits on:
      - the availability of a copy of this Safety code, applicable radiation safety rules, safe operating and emergency procedures at or near the analytical x-ray equipment,
      - the maintenance program established and followed by the equipment owner or designee,
      - reports of unsafe operational conditions, overexposure incidents and accidents; and
   (vi) review and assessment of personal dosimetry records.
5. Survey reports must state the following:
   (i) an identification of the analytical x-ray equipment that sets out the manufacturer, brand name, model number, serial number and the date of manufacture;
   (ii) an assessment of the safety devices, radiation shields, occupational exposures, and personal dosimetry records and the deficiencies observed;

   (iii) specific corrective actions necessary for compliance with this Safety Code and RED Regulations, including the completion deadlines; and
   (iv) safety recommendations (if any).
6. After analytical x-ray equipment has been decommissioned, all survey reports pertaining to that equipment must be retained for a period of five years by the last responsible user.

3.6 Guidance on Operational Safety

Unattended x-ray equipment is not considered a potential hazard unless there is human intervention. In order to reduce the probability and severity of radiation accidents and overexposures, strict adherence to operating and maintenance procedures recommended by the analytical x-ray equipment manufacturer must be observed in addition to those indicated in this Code. The following general guidance should also be observed and incorporated where feasible:

1. For operations not requiring constant user supervision or surveillance, the analytical x-ray equipment must be adequately secured to prevent access by unauthorized individuals.
2. Personnel must not expose any part of the body in the primary beam. If and when alignment of analysis accessories requires the use of an open x-ray beam, specific precautions must be exercised to reduce or eliminate radiation exposures to the extremities and other parts of the body. Long-handle forceps or remote handling devices, low x-ray tube current, and fluorescent beam-definers of higher radiation sensitivity should be employed.
3. While it may be necessary, under some circumstances, for maintenance operations to be performed with stray radiation fields above the regulatory limit (0.5 mR [~ 4.39 μGy air kerma] per hour), every effort must be made to minimize exposures to organs or parts of the body that could be affected, so as to minimize the likelihood of long-term risks. The ICRP recommended maximum permissible dose equivalent limits (Appendix I) must not be exceeded by any maintenance personnel.

   A practical guide, based on a busy maintenance worker performing, on average, one job per week under such conditions, would be to assume 1/50th of the annual permissible dose limit for each individual maintenance worker per week. This translates to a weekly working reference level of 10 mSv(1000 mrem) for the hands and other organs in the chest and upper facial regions,

except the lens of the eye for which the limit would be 3 mSv (300 mrem). **Nonetheless, all efforts must be made to reduce radiation exposure.**

4. All protective apparel and safeguards, including the radiation survey meter(s), must be tested regularly to ensure that they are in proper working and functional condition and are not defective; and proper documentation that such tests were carried out should be maintained.

3.7 Personal Exposure Monitoring

Personal dosimeters are intended to monitor occupational doses thereby providing a mechanism for restricting future radiation exposures to an individual, so that the recommended maximum permissible limits indicated in Appendix I are not exceeded. For the general application of this Safety Code, users and maintenance personnel are considered radiation workers and the applicable limits are indicated in column 2, Appendix I.

Depending on the analytical x-ray system design, monitoring the extremity doses as well as the whole body doses may be required. For extremity measurements, which typically would be the case for alignment procedures that involve open x-ray beams and systems potentially capable of irradiating the extremities, at least two finger monitors should be worn on the hand nearest the beam; one monitor should be worn on the dorsal surface of the finger and the other on the palmar surface, so as to detect exposures from narrow beams. For whole body monitoring, the monitor should be worn at chest level for work situations above bench height, enabling estimates of the dose to the breast and possibly facial organs; otherwise, wearing the monitor at waist level is satisfactory. Dosimetry records must reflect separate extremity and whole-body cumulative doses, where applicable, in order to facilitate better control on doses approaching the respective permissible limits.

The need for personal dosimeters should be determined by the appropriate radiation protection regulatory authority on the basis of survey results and the particular analytical x-ray equipment in use. Given the historic injuries, effective lines of defense against radiation exposure to the body are the application of shielding and the proper use of a survey meter in the work area of the equipment, during beam alignment and set up procedures, as well as following modifications and alterations to the equipment or its accessories; personal monitoring should be used as confirmation rather than control.

Dosimetry records should be maintained at the facility for at least 5 years after a user has terminated working with such equipment.

References

1. Treasury Board of Canada. *Handbook of Occupational Safety and Health.* Ottawa: Government Publishing Centre. 1989.

2. Department of Labour. *Canada Occupational Health and Safety Regulations*. Ottawa: Queen's Printer; Canada Gazette; Revised Statutes of Canada, Chapter L-1; (SOR/86-304); 1984.

3. International Commission on Radiological Protection. *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Oxford: Pergamon Press; ICRP Publications 60; 1991.

4. Department of National Health and Welfare. *Radiation Emitting Devices Act.* Ottawa: Queen's Printer; Revised Statutes of Canada, Chapter 34, Supplement 1; 1984.

5. Department of National Health and Welfare. *Recommended Safety Procedures for the Selection, Installation and Use of X-ray Diffraction Equipment.* Ottawa, Ontario: Environmental Health Directorate; Safety Code-19; 84-EHD-111; 1984.

6. Department of National Health and Welfare. *Radiation Emitting Devices Regulations*. Ottawa: Queen's Printer; Canada Gazette; Schedule I and II; 1981.

7. Maharaj, H.P. Safety considerations and recommendations for analytical x-ray equipment based on a review of survey data. *Health Physics*. **66**:463-471; 1994.

8. Masse, F.X., Contu-Reilly, J., Galanek, M., Ducatman, A. The need for additional warning in x-ray diffraction equipment: a shutter failure incident. *Health Physics*. **58**:219; 1990.

9. More, T.M., Britain, R.G. Corrective action program for a malfunctioning commercial x-ray diffraction shutter system. *Health Physics*. **22**: 107-108; 1972.

10. Maharaj, H.P. Response of the Victoreen 440 RF/C and the Rad Owl RO-1 survey meters to low energy photons (<66 keV) for narrow beam geometries. *Radiat. Prot. Dosimetry*. **30**: 129-133; 1990.

Appendix I
Recommended Maximum Permissible Dose Equivalent Limits for Ionizing Radiation

For the purpose of radiation protection, individuals may be classified in one of two groups: radiation worker* or member of the public. The former group refers to individuals exposed to ionizing radiation during the course of their work, excluding medical and natural background ionizing radiation exposures. The latter group refers to those individuals who are not radiation workers. The following table summarizes the 1990 ICRP **recommended** dose equivalent limits for ionizing radiation.[3]

Applicable body organ or tissue	Maximum permissible dose equivalent Limits in a year[a]	
	Radiation worker[b]	Member of the public
Whole body	20 mSv[c]	1 mSv
Lens of the eye	150 mSv	15 mSv
Skin (1 cm^2)	500 mSv	50 mSv
All organs	500 mSv	

a These limits are intended to prevent deterministic effects by keeping doses below the relevant threshold, and to reduce the incidence of stochastic effects to acceptable levels by demanding that all reasonable steps be taken to lower doses. For further details, consult the source, ICRP 1991.[3]

b For women who are or may be pregnant, the fetus must be protected from radiation exposure once pregnancy has been diagnosed. For the remainder of the pregnancy, the dose equivalent limit from radiation sources external to the body is 2 mSv applied to the surface of the abdomen, and the limit for radionuclides taken internally by the body is 1/20th of the allowable annual intake. If a woman is exposed to both internal and external sources, both limits apply separately and the total limit shall not exceed 1 mSv (since the fetus is considered a member of the public).

c While dose equivalents up to 50 mSv may be permitted in a single year for special circumstances, a total limit of 100 mSv over a five-year period is recommended by the ICRP. This translates into an average annual limit of 20 mSv y^{-1}.

* For purposes of this Safety Code, users and maintenance personnel of analytical x-ray equipment are considered radiation workers.

Appendix II
Guidance on Survey Instrumentation

Survey meters that utilize ionization in a gas remain one of the most common instruments used for determining radiation levels around analytical x-ray equipment. General guidance information is provided below and is intended to assist in choosing instruments and interpreting their measurements.

1. In order to be detected or measured, the ionizing radiation must enter the sensitive volume of the detector. Alpha, beta, gamma and x rays, and neutrons are ionizing radiations with different penetration characteristics. This means that an instrument designed for detecting and measuring alpha particles, for example, will not be appropriate for gamma and x rays. For instruments that are not intentionally designed to measure x rays but are designed to measure alpha, beta and gamma radiation, the user should obtain the manufacturer's specifications to see if the instrument will measure x rays used in analytical x-ray equipment.
2. A given instrument intended for performing quantitative measurements will respond differently to various energies of a given radiation. That is, the energy dependence of the instrument must be known and accounted for in order to make accurate quantitative measurements. Two instruments of the same model may not necessarily yield identical results (because of internal variations in electrodes, electric fields, noise, internal components, etc.); the difference would be much larger if they were of different designs. Thus, to compare the measured exposure rates at a particular point using differently designed detectors, both detectors must be calibrated at the radiation energy at which the measurements are being made.
3. The instrument should be calibrated for the energy range intended if the readings are to be relied upon. This means, if quantification of the radiation is intended, that the instrument reading must be corrected for the corresponding energy calibration factor.

4. The range of the instruments must be compatible with the range of radiation exposures to be measured. This means the instrument must be capable of measuring sufficiently low levels to establish whether or not the analytical x-ray equipment meets the regulatory limit (0.5 mR [~ 4.39 μGy air kerma] per hour at 5.0 cm from any external surface of the equipment).
5. While instrument calibration is done under well defined and highly reproducible conditions in a standardization laboratory, or one accredited by or traceable to such a laboratory, the radiation encountered in the field may come from different and often unknown directions. Therefore, an instrument with a low directional dependence should be used.
6. Extreme care should be exercised if a large detector is used for measuring narrow beams of radiation because of differences in areal response of the detectors.[10] A practical approach would be to determine the distance from the source where the field is wide enough to encompass the detection volume, measure the exposure rate there, and then use the inverse square law to estimate the exposure rate at the source (it should be higher). The result so obtained would be satisfactory for making relative comparisons that would alert or warn of the existence of a radiation hazard; that is, the instrument is used in a qualitative sense. Alternatively, a detector that is small enough to make field variations over its own dimensions negligible, may be used to quantify the radiation exposure, provided that the appropriate calibration factor corresponding to the radiation energy of the measurement is applied.
7. Geiger Mueller (GM) survey meters may be sensitive to daylight, uv radiation, radiofrequency fields, and may undergo paralysis of response (read zero) at high exposure or count rates. Therefore, when a reading is obtained it should be ascertained that it is not affected by these factors. GM meters used in surveys should be turned on before entry into the zone to be checked, in case the radiation field is so high that it causes the detector to undergo paralysis and indicate zero reading (i.e., a false indication of a radiation field). GM meters used for x rays and gamma radiation <100 keV are highly energy dependent and unless a calibration is available for the energy spectrum present, their use should be restricted to only the detection of radiation. An end-window GM detector, because of its small size and increased x-ray sensitivity compared to an ion chamber, is very useful in detecting high radiation areas close to, or on, the equipment; a pancake type GM probe has the advantage of allowing the user

to keep the hands out of the beam while placing the probe head into an x-ray beam. In addition, GM detectors should not be used for the measurement of short high intensity pulsed radiation because the level during pulsation may be sufficiently high to cause the instrument to respond in its non-linear range, thereby causing readings that are too low.
8. The instrument(s) must be in good working condition, and constancy performance and functional tests should be conducted periodically.

Appendix III
Provincial and Territorial Agencies Responsible for Radiation Safety

Alberta
Alberta Radiation Health Service
Occupational Health & Safety
4th Floor, Donsdale Place
10709 Jasper Avenue
Edmonton, Alberta
T5J 3N3
Tel: (403) 427-2691
FAX: (403) 427-5698

British Columbia
Worker's Compensation Board of British Columbia
P.O. Box 5350 Stn Terminal
Vancouver, British Columbia
V6B 5L5
Tel: (604) 231-8374 (toll free within B.C. 1-888-621-7233)
FAX: (604) 279-7410

Newfoundland
Medical and Hygiene Services
Employment and Labour Relations
Fall River Plaza
P.O. Box 8700
St. John's, Newfoundland
A1B 4J6
Tel: (709) 729-2644
FAX: (709) 729-2142

Northwest Territories
Occupational Health and Safety Division
Safety and Public Services
Government of the Northwest Territories
P.O. Box 1320
Yellowknife, N.W.T.
X1A 2L9
Tel: (403) 920-8616
FAX: (403) 873-7706

Prince Edward Island
Division of Environmental Health
Department of Health and Social Services
P.O. Box 2000
Charlottetown, P.E.I.
C1A 7N8
Tel: (902) 368-4970
FAX: (709) 368-4969

Quebec
Service de Radioprotection
Ministère de l'Environnement
Gouvernement du Québec
6072 est, rue Sherbrooke
Montréal, Québec
H1T 3X9
Tel: (514) 873-1978
FAX: (514) 873-8953

Manitoba
Radiation Protection Service
Department of Medical Physics
Manitoba Cancer Foundation
100 Olivia Street
Winnipeg, Manitoba
R3E 0V9
Tel: (204) 787-2211
FAX: (204) 775-1684

Nova Scotia
Department of Health and Fitness
P.O. Box 488, Station "M"
Halifax, Nova Scotia
B3J 2R8
Tel: (902) 424-4077
FAX: (902) 424-0558

Saskatchewan
Radiation Safety Unit
Department of Human Resources,
Labour and Employment
Saskatchewan Place
1870 Albert Street
Regina, Saskatchewan
S4P 3V7
Tel: (306) 787-4486
FAX: (306) 787-2208

New Brunswick
Radiation Protection Services
Department of Health and Community Services
2nd Floor, Carleton Place
King Street
P.O. Box 5100
Fredericton, New Brunswick
E3B 5G8
Tel: (506) 453-2360
FAX: (506) 453-2726

Ontario
Radiation Protection Service
Ontario Ministry of Labour
81 Resources Road
Weston, Ontario
M9P 3T1
Tel: (416) 235-5922
FAX: (416) 235-5926

Yukon
Consumer, Corporate and Labour Affairs Branch
Department of Justice
P.O. Box 2703
Whitehorse, Yukon
Y1A 2C6
Tel: (403) 667-5450
FAX: (403) 667-3609

Santé Canada Health Canada

Appareils d'analyse aux rayons X – Exigences et recommandations en matière de sécurité

Code de sécurité 32

Canada

Appareils d'analyse aux rayons X – Exigences et recommandations en matière de sécurité

Code de sécurité 32*

Direction de l'hygiène du milieu
Direction générale de la protection de la santé

Publication autorisée par le Ministre de la Santé nationale et du Bien-être social

Also available in English under the title:
Safety Requirements and Guidance for Analytical X-Ray Equipment – Safety Code 32

* Code de sécurité 32 remplace le précédent code de sécurité 19 – Mesures de sécurité pour le choix d'installations et utilisation d'équipement de diffraction à rayons X.

94-DHM-186

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1994
En vente au Canada chez votre libraire local ou par la poste auprès du :
Groupe Communication Canada—Édition
Ottawa (Canada) K1A 0S9

N° de cat. H46-2/94-186F
ISBN 0-660-94584-3

Données de catalogage avant publication (Canada)

Vedette principale au titre :

Appareils d'analyse aux rayons-X – exigences et recommandations en matière de sécurité.
(Code de sécurité : 32)

Issued also in English under the title:
Safety Requirements and Guidance for Analytical X-Ray Equipment.
«Code de sécurité 32 remplace le précédent code de sécurité 19.»
Comprend des références bibliographiques.
N° de cat. H46-2/94-186F
ISBN 0-660-94584-3

1. Spectroscopie des rayons-X – Sécurité – Mesures.
2. Rayons X – Diffraction – Sécurité – Mesures.
3. Rayons X – Appareils et matériel – Sécurité – Mesures.
I. Canada. Direction de l'hygiène du milieu.
II. Coll.

QC482.S6S3314 1994 539.7'222 C94-980253-0

Avant-propos

D'une façon générale, l'expression *appareils d'analyse aux rayons X* désigne tous les types de dispositifs de diffractométrie et de spectrographie aux rayons X conçus avant tout pour effectuer des examens microscopiques ou pour analyser des spectres de rayons X de la matière au niveau atomique ou cristallin. Dans le présent Code de sécurité, cette expression désigne les systèmes qui comportent un tube radiogène (ou une colonne démontable scellée) comme source de rayonnement ionisant. Les systèmes de diffractométrie aux rayons X dispersent le rayonnement monochromatique et fonctionnent ordinairement dans la plage 20-60 kV (crête). Les systèmes spectrographiques dispersent le rayonnement polychromatique et fonctionnent ordinairement sous des tensions variant de 20 à 100 kV (crête).

Le présent Code de sécurité a été élaboré conformément aux normes édictées par le Conseil du Trésor[1] et pour les installations soumises au Code canadien du travail, partie IV.[2] Il fournit des renseignements sur les exigences réglementaires ainsi que des recommandations qui visent à faire en sorte que les risques d'irradiation associés aux appareils d'analyse aux rayons X demeurent négligeables (c'est-à-dire, qu'ils ne dépassent pas les risques associés au rayonnement de fond naturel inévitable). Une telle démarche est conforme aux objectifs de 1990 de la Commission internationale de protection contre les radiations[3] qui visent à empêcher les effets déterministes (ceux pour lesquels la gravité d'un effet biologique augmente avec la dose) et à réduire les effets stochastiques (aléatoires) (ceux pour lesquels la probabilité qu'ils se produisent augmente avec la dose, mais pour lesquels la gravité ne dépend pas de la dose absorbée) à des niveaux acceptables.

Ce document a pour objectif de réduire au minimum ou d'éliminer les risques de radioexposition qui pourraient être associés au matériel d'analyse aux rayons X. Il fournit des renseignements sur les normes réglementaires et les mesures de sécurité, ainsi qu'un résumé des responsabilités particulières des personnes ou groupes suivants :

- le propriétaire du matériel, soit une personne, un organisme ou une institution qui possède ou gère administrativement une ou plusieurs installations comportant une ou plusieurs sources de rayonnement ionisant;
- les utilisateurs du matériel;
- le personnel chargé de l'entretien, soit des personnes qualifiées employées par le fabricant du matériel ou par son/ses agent(s) agréé(s) pour exécuter des travaux d'entretien;

- les spécialistes en radioprotection (analystes et inspecteurs, tel que défini dans la Loi sur les dispositifs émettant des radiations)[4].

Le présent document annule et remplace le Code de sécurité 19 (Mesures de sécurité pour le choix d'installations et l'utilisation d'équipement de diffraction à rayons X)[5].

Le présent code peut également s'appliquer à d'autres situations. Pour les installations qui relèvent des autorités provinciales, il conviendra toutefois de consulter les services appropriés indiqués dans l'annexe III puisque la réglementation et les exigences en cette matière peuvent varier d'une province à l'autre.

Ce document a été préparé par H.P. Maharaj. Il tient compte des recommandations formulées à l'issue des examens internes et externes conduits par le Bureau de la radioprotection ainsi que de ses critères d'approbation. Nous remercions vivement les organisations et les personnes dont les suggestions et les commentaires nous ont été d'un grand secours dans la préparation de ce code.

Pour obtenir une interprétation ou des informations supplémentaires sur l'un ou l'autre point du présent Code de sécurité, il suffit de s'adresser au Bureau de la radioprotection, section des rayons X, 775 chemin Brookfield, Ottawa (Ontario), K1A 1C1.

Table des matières

		Page
	Avant-propos	3
1.	**Introduction**	7
2.	**Objectifs du présent code de sécurité**	9
3.	**Exigences en matière de radioprotection et responsabilités**	10
3.1	Normes réglementaires et nouveau matériel	10
3.2	Exigences relatives au matériel usagé	11
3.3	Exigences relatives aux dispositifs de protection dans le laboratoire	13
3.3.1	Contrôles avant mise en marche et entretien	14
3.3.1.1	Vérifications de sécurité avant mise en marche	15
3.3.1.2	Entretien	15
3.4	Aspects humains	16
3.4.1	Responsabilités du propriétaire du matériel	16
3.4.2	Responsabilités des utilisateurs	18
3.4.3	Responsabilités du personnel chargé de l'entretien	19
3.5	Contrôles de radioprotection	20
3.6	Mesures de sécurité recommandées	21
3.7	Surveillance de l'exposition individuelle	23
Bibliographie		25
Annexes		
I	Limites d'équivalent de dose maximales admissibles recommandées pour les rayonnements ionisants	27
II	Recommandations relatives aux instruments de contrôle radiologique	28
III	Organismes provinciaux responsables de la radioprotection	31

1. Introduction

Les rayons X sont des rayonnements électromagnétiques de courte longueur d'onde qui peuvent interagir de diverses manières avec la matière. Ces interactions fournissent des données qui, lorsqu'elles sont analysées correctement, permettent de tirer des conclusions au sujet des matériaux irradiés. Il existe maintenant des appareils, en particulier des appareils de diffraction et des spectromètres à rayons X, qui utilisent des faisceaux de rayons X très intenses pour faciliter les examens au microscope ou les analyses atomiques de matériaux dans l'industrie, les laboratoires de recherche et les établissements d'enseignement. Ces appareils sont généralement désignés dans le présent Code de sécurité par l'expression appareils d'analyse aux rayons X.

Les rayons X constituent un rayonnement ionisant qui peut avoir des effets biologiques nocifs comme le cancer et la leucémie. Si une brève exposition des mains au faisceau primaire d'un appareil d'analyse aux rayons X peut ne pas avoir d'effet clinique observable à court terme ou à long terme chez certaines personnes, il est possible que d'autres personnes présentent une réaction comme une légère décoloration de la peau qui pourrait évoluer en brûlure, en dermatite et, éventuellement, en cancer. Les expositions au rayonnement peuvent être aiguës ou chroniques. L'exposition est aiguë lorsqu'une dose de rayonnement relativement importante est administrée pendant une courte période de temps et que les effets biologiques nocifs se manifestent au bout d'un temps inversement proportionnel, environ, à la dose reçue. L'exposition est chronique lorsque de petites doses sont administrées, de façon plus ou moins uniforme, pendant de longues périodes de temps. Les effets biologiques nocifs sont alors plus subtils et ils peuvent n'apparaître qu'au bout de plusieurs années ou décennies. La guérison après une lésion due au rayonnement dépend de nombreux facteurs dont, entre autres, la radiosensibilité des tissus ou des organes irradiés, l'efficacité biologique relative (EBR) du rayonnement, l'âge et le sexe de la personne, la dose absorbée et le temps pendant lequel cette dose a été administrée. Bien que l'on dispose de résultats expérimentaux montrant que les cellules peuvent se rétablir dans le cas de faibles doses administrées pendant de longues périodes de temps, les mécanismes de guérison peuvent être imparfaits et il y a toujours des risques d'effets à long terme

comme l'apparition d'un cancer (carcinogenèse), des affections dégénératives (par exemple, des cataractes) et des problèmes d'origine génétique chez les descendants des personnes exposées, comme une santé déficiente et des anormalités dans le développement. Ainsi, une exposition au rayonnement pourrait entraîner des effets immédiats ainsi que des effets tardifs sur la santé. Tout comme d'autres types de sources de rayonnement ionisant artificielles utilisées en médecine, dans l'industrie, dans les laboratoires de recherche et dans les produits de consommation, les appareils d'analyse aux rayons X présentent des risques d'irradiation.

Consciente des nombreuses utilisations des rayonnements ionisants partout dans le monde, mais reconnaissant par ailleurs les risques qu'ils présentent pour la santé des humains, la Commission internationale de protection contre les radiations (CIPR)[3] a recommandé la mise en place d'un système de radioprotection qui, s'il était appliqué, permettrait de limiter ces risques à des limites raisonnables. Les limites d'équivalent de dose recommandées par la CIPR sont basées sur la prévention des effets déterministes, en gardant les doses de rayonnement sous les seuils pertinents, et sur la condition que toutes les mesures raisonnables soient prises pour réduire les effets stochastiques à des niveaux acceptables. (Les effets déterministes sont ceux dont la gravité augmente avec la dose; les effets stochastiques sont ceux dont la probabilité augmente avec la dose absorbée, mais dont la gravité ne dépend pas de la dose.) Dans ce contexte, les appareils d'analyse aux rayons X doivent être conçus et construits conformément aux normes réglementaires et les personnes qui les installent, les utilisent et les entretiennent *doivent* connaître les risques d'irradiation inhérents à ces dispositifs et observer les méthodes recommandées.

2. Objectifs du présent code de sécurité

Le présent Code de sécurité décrit les exigences relatives au matériel d'analyse aux rayons X et fournit des recommandations pour que les risques d'irradiation associés à ce matériel demeurent négligeables (c'est à dire, qu'ils ne dépassent pas ceux qui existent normalement dans le milieu naturel). Les responsabilités particulières qui incombent au propriétaire du matériel (défini dans l'avant-propos), à l'utilisateur et au personnel chargé de l'entretien y sont définies, en même temps que les consignes de sécurité, les normes en vigueur et les exigences relatives à la surveillance et au contrôle.

3. Exigences en matière de sécurité et responsabilités

Conformément aux objectifs de la CIPR établis en 1990, le matériel d'analyse aux rayons X doit satisfaire les normes réglementaires applicables ainsi que les exigences relatives aux installations, et les personnes qui possèdent, utilisent et entretiennent le matériel doivent assumer pleinement leurs responsabilités respectives.

3.1 Normes réglementaires et nouveau matériel

Tous les nouveaux appareils d'analyse aux rayons X vendus au Canada ***doivent*** être conformes au Règlement sur les dispositifs émettant des radiations[6] au moment de la vente. Selon le type d'appareil d'analyse, ce sera la partie XIV ou la partie XV de l'annexe II du règlement qui s'appliquera. Ce règlement, promulgué en vertu de la Loi sur les dispositifs émettant des radiations,[4] dispose que le fabricant ou le distributeur est responsable de veiller à ce que le matériel soit conforme aux normes édictées. Étant donné que des modifications peuvent être apportées au règlement, pour tenir compte des progrès technologiques, on peut en vérifier l'actualité auprès de la Section des rayons X, Bureau de la radioprotection, 775 chemin Brookfield, Ottawa (Ontario), K1A 1C1.

Lors du choix ou de l'achat d'un appareil d'analyse à rayons X, le futur propriétaire a tout intérêt à se procurer un exemplaire de la version la plus récente du règlement pour se familiariser avec les exigences et pour pouvoir vérifier auprès du fabricant ou de l'importateur si le produit est conforme au règlement en vigueur. (Ces précautions peuvent lui éviter de devoir modifier le matériel, ou tout au moins réduire les modifications nécessaires au minimum. De telles modifications peuvent se révéler coûteuses et entraîner des inconvénients considérables si le travail doit être interrompu.)

3.2 Exigences relatives au matériel usagé*

Le matériel fabriqué avant la publication de directives relatives à la conception présente un certain nombre de déficiences du point de vue de la sécurité, si l'on compare avec les normes actuelles,[7] et partant certains appareils ont été mis hors service. Bien que le matériel offert avec moins de déficiences soit en général moins coûteux et souvent facile à améliorer, il est impossible de garantir une sécurité absolue. Toutefois, on peut atteindre un niveau de sécurité raisonnable en suivant les instructions données dans le guide d'utilisation du matériel ainsi que les recommandations exposées dans le présent code. Enfin, le matériel qui a déjà servi doit répondre aux exigences minimales suivantes :

1. Panneau de commande
   (i) Un interrupteur à verrou de sécurité ou autre dispositif équivalent doit être installé pour empêcher toute utilisation non autorisée.
   (ii) Un interrupteur de courant marche-arrêt doit être installé pour la mise sous tension de l'appareil.
   (iii) Un panneau de mise en garde sur lequel est écrit «Attention Rayons X. Cet équipement émet un rayonnement X de haute intensité. Il ne doit être utilisé que par du personnel qualifié» doit être apposé, avec, là où c'est nécessaire, l'équivalent anglais : "Caution x rays. This equipment produces high intensity x rays when energized. To be used and serviced by qualified personnel only." Le panneau doit être apposé de préférence à côté de l'interrupteur de courant marche-arrêt, il doit être lisible à une distance de 2 mètres et il doit être bien visible en tout temps.
   (iv) Le panneau de commande doit comporter un interrupteur marche-arrêt pour l'émission de rayons X.
   (v) Tous les signaux lumineux, compteurs, commandes et autres indicateurs doivent comporter des étiquettes et des marques facilement reconnaissables qui indiquent leurs fonctions.

* L'expression «matériel usagé» désigne le matériel qui n'est plus sous la garantie du fabricant accordée au moment de l'achat.

   (vi) Des indicateurs lumineux à sûreté intégrale doivent être installés pour indiquer lorsque le tube radiogène est sous tension et lorsque des rayons X sont émis. Lorsque le matériel ne comporte qu'un seul panneau de commande pour faire fonctionner plusieurs tubes radiogènes, chaque tube doit être doté de ses propres indicateurs lumineux à sûreté intégrale (du type décrit ci-dessus) pour indiquer lorsqu'il est sous tension et lorsque des rayons X sont émis. Les tubes qui ne sont pas utilisés doivent être débranchés, pour empêcher toute mise sous tension accidentelle, ou enlevés.
2. Obturateurs et fenêtres de sortie du faisceau
   (i) Des voyants avertisseurs doivent être installés pour indiquer si les obturateurs sont ouverts ou fermés. Les mécanismes de l'obturateur doivent être interverrouillés avec le système de production de rayons X. Les obturateurs doivent normalement être en position fermée et ne pouvoir s'ouvrir que sous l'effet d'une action positive; les obturateurs non utilisés doivent être retenus de façon à empêcher toute ouverture accidentelle. Les fenêtres de sortie de faisceau non utilisées doivent être scellées de façon permanente avec du plomb.
3. Blindage
   (i) Les faisceaux primaires transmis au-delà du détecteur doivent être atténués par un arrêt de faisceau ou un piège à faisceau, ou autre blindage permanent, placé le plus près possible de l'appareil pour confiner le faisceau et empêcher que le niveau de rayonnement ne dépasse 0,5 mR [kerma de l'air ~ 4,39 μGy] par heure à 5,0 centimètres de la surface extérieure de l'appareil.
   (ii) Pour tout appareil fonctionnant dans des conditions de faisceau ouvert (c'est à dire lorsque le faisceau primaire peut atteindre les extrémités ou des organes dans la partie supérieure de la poitrine et dans le visage, et lorsque le champ de rayonnement parasite dépasse les limites admissibles), l'accès à ces champs de rayonnement doit être restreint. En plus des exigences relatives aux dispositifs de protection énumérées au paragraphe 3.3, les appareils de ce type doivent être placés dans une enceinte comportant :

(a) des parois en verre au plomb ou en matériau équivalent (par exemple, un copolymère acrylique au plomb) d'une épaisseur suffisante pour réduire les niveaux de rayonnement existants à 0,5 mR [kerma de l'air ~ 4,39 μGy] par heure à 5,0 centimètres de toutes les surfaces de l'enceinte extérieurement accessibles, lorsque l'appareil fonctionne à sa puissance maximale;

(b) une ou plusieurs portes coulissantes ou autres ouvertures similaires pour faciliter les réglages;

(c) un système de fermeture automatique ou une alarme sonore appropriée pour avertir le personnel qu'il pénètre dans une zone de rayonnement intense lorsqu'une porte coulissante ou toute autre ouverture similaire n'est pas fermée; et

(d) un panneau de mise en garde tel que celui décrit à l'alinéa 3.2.(1) iii), bien visible en tout temps, apposé sur la porte coulissante ou toute autre ouverture similaire.

4. Verrouillages

(i) Lorsque les conditions le requièrent et lorsque cela est possible, des verrouillages à sûreté intégrale doivent être installés sur les accessoires ou éléments pour lesquels leur enlèvement permettrait un accès direct au faisceau primaire ou à des zones de rayonnement intense sur l'appareil.

3.3 Exigences relatives aux dispositifs de protection dans le laboratoire

Les contrôles ont montré que le rayonnement parasite pouvait provenir de pièces défectueuses, d'un mauvais ajustement des accessoires à l'origine de fuites par des ouvertures non blindées, et de rectificateurs à tubes posés sur des dispositifs de diffraction des rayons X, en particulier sur le matériel fabriqué avant l'imposition de normes. Les niveaux de rayonnement dépassent souvent par plusieurs ordres de grandeur les limites admissibles. Dans un certain nombre de cas, le matériel qui présentait ces problèmes était mal installé et/ou les mises en garde étaient insuffisantes, ce qui augmentait les risques de radioexposition non nécessaire.

Pour atteindre un niveau de protection acceptable, on doit inclure les dispositifs de protection suivants :

1. Isolation et signalisation appropriées des appareils d'analyse aux rayons X

(i) Réserver une salle, ou une partie d'une salle, pour le matériel.

(ii) Apposer de façon permanente, à l'extérieur de la salle, sur la porte qui donne accès au matériel, les panneaux de mise en garde appropriés représentés ci-dessous. Le panneau doit être lisible et bien visible à une distance de 2 mètres de la porte.

2. Accès réservé

L'accès aux salles dans lesquelles des appareils d'analyse aux rayons X sont utilisés doit être strictement réservé aux utilisateurs du matériel et aux autres membres du personnel autorisés.

3.3.1 Contrôles avant mise en marche et entretien

La fiabilité et la sûreté de tout système physique diminuent avec l'âge et avec l'usage qu'il en est fait par suite de l'usure des pièces ou de la corrosion.[8,9] Pour maintenir un haut niveau de sécurité et de fiabilité, l'utilisateur d'appareils d'analyse à rayons X doit effectuer régulièrement certains contrôles de sécurité sur les éléments cruciaux en matière de radioprotection, avant de se servir de ces éléments, et le propriétaire du matériel ou le responsable désigné doit établir et mettre en oeuvre un programme d'entretien préventif approprié. Ces mesures doivent tenir compte de l'âge et de la fréquence d'utilisation du matériel.

3.3.1.1 Vérifications de sécurité avant mise en marche

Une fois les appareils d'analyse aux rayons X installés et après chaque séance d'entretien des appareils ou des accessoires, l'utilisateur doit consulter l'alinéa 3.4.2 du présent code et procéder aux vérifications suivantes :

(i) vérifier le fonctionnement de tous les dispositifs de sécurité;

(ii) veiller à ce que tous les blindages, fenêtres de sortie du faisceau, accessoires et raccords soient en bon état et fonctionnent parfaitement;

(iii) vérifier que les niveaux de rayonnement ambiant soient inférieurs aux limites admissibles réglementaires (0,5 mR [kerma de l'air ~ 4,39 μGy] par heure à 5,0 centimètres de toutes les surfaces extérieures du matériel) à l'aide d'un appareil de contrôle radiologique approprié (voir les recommandations dans l'annexe II) fourni par le propriétaire du matériel ou par le responsable désigné; et

(iv) veiller à ce que tout déverrouillage d'un dispositif de sécurité quelconque soit de type déclenchement unique et que le dispositif de sécurité soit revenu aux conditions de sûreté intégrale au moment où le générateur de rayons X est mis en marche.

3.3.1.2 Entretien

Il est possible de réduire considérablement ou d'éliminer les radioexpositions dangereuses en observant les recommandations du fabricant énoncées dans le guide d'entretien. Le personnel chargé de l'entretien doit respecter les règles suivantes et veiller à ce qu'aucune personne non autorisée ne se trouve à proximité du matériel à rayons X pendant l'entretien :

(i) vérifier le bon fonctionnement de tous les dispositifs de protection et de sécurité. S'il apparaît essentiel de déverrouiller un dispositif de sécurité pour faciliter une tâche d'entretien particulière, il est **impératif** d'observer les consignes suivantes :

(a) installer un voyant rouge clignotant ou un signal sonore intermittent, clairement visible ou audible pour une personne possédant une vue et une ouïe normales ou corrigées, à proximité de l'élément dont le dispositif de sécurité a été déverrouillé,

(b) apposer, près du voyant rouge clignotant ou du signal sonore intermittent, une note écrite indiquant de manière explicite que le dispositif de sécurité a été déverrouillé,

(c) utiliser un appareil de contrôle radiologique approprié si la tâche à accomplir risque de s'accompagner d'une émission de rayonnement et veiller à ce que les limites admissibles ne soient pas dépassées (voir les recommandations relatives aux niveaux de référence pour les organes du corps humain à l'alinéa 3.4.3), et

(d) veiller à ce que le dispositif de sécurité soit réenclenché et que tout blindage enlevé ou modifié pour faciliter la tâche soit remis en place une fois la tâche accomplie;

(ii) vérifier l'installation et le bon fonctionnement de tous les blindages, obturateurs, fenêtres de sortie du faisceau, accessoires et raccords;

(iii) mesurer les niveaux de rayonnement à proximité des éléments qui doivent faire l'objet de l'entretien avant et après l'accomplissement des tâches. Utiliser un appareil de contrôle radiologique approprié (fourni par le propriétaire du matériel ou personnel), et observer les limites recommandées à l'alinéa 3.4.3 pour les organes du corps humain ainsi que les niveaux admissibles établis pour le fonctionnement de l'appareil (voir l'alinéa 3.3.1.1 iii)).

3.4 Aspects humains

Pour se conformer aux objectifs de la CIRP et réduire au minimum les risques d'irradiation, le personnel de tout laboratoire dans lequel des appareils d'analyse aux rayons X sont utilisés doit respecter strictement les consignes pertinentes. Les responsabilités respectives du propriétaire, des utilisateurs et du personnel chargé de l'entretien sont énumérées ci-dessous.

3.4.1 Responsabilités du propriétaire du matériel

En dernière analyse, c'est le propriétaire du matériel d'analyse aux rayons X qui est responsable de la radioprotection. **Le propriétaire du matériel est la personne, l'organisme ou l'institution qui possède ou qui gère administrativement un ou plusieurs laboratoires dans lesquels sont utilisées une ou des sources de rayonnement ionisant.** Le propriétaire du matériel doit veiller à ce que le matériel d'analyse aux rayons X soit conforme à toutes les

normes de radioprotection pertinentes. Dans certains cas, cette responsabilité peut être déléguée à un employé (p. ex., un opérateur principal ou l'agent de santé-sécurité de l'installation), que nous appellerons ci-après le responsable désigné. Dans tout laboratoire où l'on utilise des appareils d'analyse aux rayons X, le propriétaire ou le responsable désigné est tenu de :

1. veiller à ce que le matériel soit installé conformément aux règles prescrites au paragraphe 3.3 du présent code;
2. veiller à ce que tous les utilisateurs aient préalablement reçu une formation adéquate concernant l'utilisation du matériel installé et les risques que présente l'exposition aux radiations;
3. édicter des règles de radioprotection et établir des directives concernant l'utilisation des appareils et les mesures à prendre en cas d'urgence, et afficher ces règles et directives bien en évidence à proximité des appareils, en indiquant l'adresse d'un hôpital ou d'une clinique, avec les noms des services à contacter;
4. mettre à la disposition des utilisateurs et des personnes chargées de l'entretien un exemplaire du présent code;
5. mettre en œuvre une procédure de vérification, de surveillance et d'examen périodique pour s'assurer que tous les utilisateurs et les personnes chargées de l'entretien ont reçu une formation adéquate et qu'ils ont lu et compris les parties du présent code qui les concernent, y compris les règles de radioprotection et les directives relatives à l'utilisation du matériel et aux mesures d'urgence, avant l'utilisation et l'entretien du matériel;
6. établir un programme d'entretien qui tiendra compte de l'âge et de la fréquence d'utilisation du matériel, et qui permettra de vérifier que tous les dispositifs de sécurité, les composantes essentielles à l'émission des rayons X et les blindages sont régulièrement vérifiés et que les pièces qui font défaut sont réparées ou remplacées;
7. fournir un appareil de contrôle radiologique approprié aux utilisateurs et aux personnes chargées de l'entretien et vérifier qu'il est en bon état et qu'il fonctionne correctement en tout temps;
8. enquêter rapidement sur toute surexposition aux rayonnements ionisants et sur tout accident de radiation et soumettre un rapport de ses observations au propriétaire, ou au responsable désigné, et à l'organisme approprié de réglementation en matière de radioprotection dans un délai de 5 jours civils;

9. veiller à ce que les victimes d'accident de radiation soient examinées par un spécialiste (oncologiste-radiothérapeute ou médecin ayant l'expérience des effets biologiques de l'exposition aux rayonnements ionisants chez les humains);
10. déterminer les mesures à prendre pour éviter la répétition d'un accident de radiation ou d'une entorse à la sécurité, et veiller à ce que ces mesures soient mises en place de façon efficace;
11. veiller à ce que, lors d'un contrôle de radioprotection, un exemplaire du rapport d'enquête le plus récent contenant un résumé des correctifs recommandés et mis en oeuvre soit mis à la disposition de l'inspecteur.

3.4.2 Responsabilités des utilisateurs

Tous les utilisateurs d'appareils d'analyse aux rayons X doivent :

1. avoir reçu une formation reconnue par le propriétaire ou par le responsable désigné, relativement à l'utilisation du dispositif en question et aux règles de sécurité à observer;
2. lire attentivement et bien comprendre toutes les consignes de sécurité et les mesures d'urgence établies par le propriétaire, ou le responsable désigné, et par l'organisme approprié de réglementation en matière de radioprotection, avant d'utiliser les appareils d'analyse aux rayons X;
3. porter des dosimètres personnels appropriés au type de matériel (voir le paragraphe 3.7 du présent code) et conformes aux recommandations de l'organisme de réglementation en matière de radioprotection;
4. revoir régulièrement leurs propres données de dosimétrie personnelle et relever les radioexpositions non prévues, en rechercher la(les) cause(s) et mettre en œuvre les mesures correctrices appropriées;
5. utiliser un appareil de contrôle radiologique approprié pour surveiller les niveaux de rayonnement aux endroits critiques (gaine du tube, fenêtres de sortie du faisceau, obturateurs, accessoires d'analyse, etc.) du matériel pendant l'installation et pendant l'alignement du faisceau, ainsi qu'après toute modification de l'appareil ou de ses accessoires, et pour vérifier que la limite réglementaire (0,5 mR [kerma de l'air ~ 4,39 μGy] par heure à 5,0 cm de toute surface extérieure de l'appareil) est respectée, et que les niveaux recommandés (indiqués au paragraphe 3.6) y compris les limites de dose admissibles (annexe I) ne seront pas dépassés dans des conditions d'utilisation normales;

6. effectuer les contrôles de sécurité avant mise en marche indiqués à l'alinéa 3.3.1.1 du présent code;
7. arrêter l'appareil d'analyse aux rayons X en cas d'incident compromettant la sécurité et avertir immédiatement le propriétaire ou le responsable désigné.

3.4.3 Responsabilités du personnel chargé de l'entretien

Toutes les personnes responsables de l'entretien des appareils d'analyse aux rayons X doivent :

1. avoir reçu une formation adéquate relativement à l'entretien et à la réparation des divers appareils d'analyse aux rayons X dont ils sont responsables, l'accent ayant été mis sur les opérations d'entretien qui pourraient nécessiter la mise en marche du générateur de rayons X;
2. lire attentivement et bien comprendre l'ensemble des consignes de sécurité et des mesures d'urgence relatives au matériel d'analyse aux rayons X et au laboratoire, y compris les paragraphes 3.6 et 3.7 du présent code;
3. porter des dosimètres individuels pour surveiller séparément les doses reçues par le corps entier et par les extrémités, selon les tâches accomplies;
4. utiliser un appareil de contrôle radiologique en bon état de fonctionnement (fourni par le propriétaire du matériel ou personnel) pour surveiller les niveaux de rayonnement aux endroits critiques (gaine du tube, fenêtres de sortie du faisceau, obturateurs, accessoires d'analyse, etc.) du matériel pendant l'installation, l'alignement du faisceau et l'entretien, et après toute modification apportée aux appareils ou aux accessoires;
5. prendre les précautions nécessaires pour éliminer ou réduire les niveaux de rayonnement (mesurés conformément à l'alinéa 3.4.3.4) afin que la limite réglementaire (0,5 mR [kerma de l'air ~ 4,39 µGy] par heure à 5,0 cm de toute surface extérieure de l'appareil) soit respectée et que les niveaux recommandés (indiqués au paragraphe 3.6), y compris les limites de dose admissibles (annexe I) ne soient pas dépassées dans les conditions de fonctionnement normales;
6. revoir régulièrement leurs propres données de dosimétrie personnelle et relever les radioexpositions non prévues, en rechercher la(les) cause(s) et mettre en œuvre les mesures correctrices appropriées;

7. fournir à l'utilisateur et au propriétaire du matériel, ou au responsable désigné, un rapport écrit détaillé sur toute activité ou procédure de l'utilisateur présentant un risque d'accident de radiation dès qu'une telle activité ou procédure est constatée;
8. consulter et observer les procédures d'entretien décrites à l'alinéa 3.3.1.2 du présent code;
9. superviser le travail des employés d'entretien en formation;
10. empêcher l'utilisation de l'appareil d'analyse aux rayons X en cas d'entorse à la sécurité et avertir immédiatement le propriétaire ou le responsable désigné.

3.5 Contrôles de radioprotection

Les contrôles de radioprotection permettent de déterminer si les appareils d'analyse aux rayons X fonctionnent selon les normes de conception et de rendement prescrites, et de vérifier s'ils sont utilisés et entretenus de façon à garantir les meilleures conditions de sécurité à tous les intéressés. Pour réaliser un tel objectif, il convient de satisfaire aux exigences suivantes, qui s'appliquent à toutes les installations :

1. Le matériel d'analyse aux rayons X doit être contrôlé lors de l'installation initiale et à la suite de travaux d'entretien, de modifications, de dommages et d'accidents de radiation.
2. Les contrôles doivent être effectués par l'organisme approprié de réglementation en matière de radioprotection. Ce dernier pourra cependant déléguer cette responsabilité à une autre instance équivalente.
3. Le matériel d'analyse aux rayons X doit faire l'objet de contrôles réguliers dont la fréquence dépend du type de matériel, des conditions d'utilisation et du rendement obtenu par le passé. La fréquence peut être fixée après consultation avec l'organisme de réglementation en matière de radioprotection approprié.
4. Les contrôles de radioprotection du matériel d'analyse aux rayons X doivent comprendre :
   (i) une inspection approfondie de tous les dispositifs de sécurité et de tous les blindages;
   (ii) des mesures du rayonnement parasite dans les pires conditions (si possible) d'utilisation autour du système;
   (iii) une quantification correcte des niveaux de rayonnement parasite au-dessus de la limite réglementaire et une spécification des distances exactes par rapport à l'appareil à rayons X où ils ont été observés;

(iv) une évaluation de l'exposition du personnel et du public dans les cas où les rayonnements parasites ont dépassé la norme réglementaire;

(v) des vérifications

- de la disponibilité d'un exemplaire du présent code de sécurité, des règles de radioprotection applicables, des directives relatives au fonctionnement et des mesures d'urgence, à proximité du matériel d'analyse aux rayons X,
- du programme d'entretien établi et suivi par le propriétaire du matériel ou le responsable désigné,
- des rapports sur les entorses à la sécurité, les surexpositions et les accidents de radiation;

(v) un examen et une évaluation des dossiers de dosimétrie individuelle.

5. Les rapports des contrôles doivent comprendre :
   (i) une identification du matériel d'analyse aux rayons X, avec le nom du fabricant, la marque, le modèle, le numéro de série et la date de fabrication;
   (ii) une évaluation des dispositifs de sécurité, des blindages, des expositions professionnelles, des dossiers de dosimétrie individuelle et des défauts observés;
   (iii) des précisions sur les mesures correctives prescrites pour répondre aux exigences du présent code et du Règlement sur les dispositifs émettant des radiations, avec les dates limites prescrites pour leur mise en place;
   (iv) des recommandations concernant la radioprotection, le cas échéant.
6. Après la mise hors service du matériel d'analyse aux rayons X, tous les rapports de contrôle relatifs à ce matériel doivent être conservés pendant au moins cinq ans par le dernier utilisateur responsable.

3.6 Mesures de sécurité recommandées

Les appareils à rayons X fonctionnant de façon autonome ne présentent pas de risques, sauf en cas d'intervention humaine. Pour réduire la probabilité et la gravité des accidents de radiation et des surexpositions, il convient d'observer rigoureusement les procédures d'utilisation et d'entretien recommandées par le fabricant du matériel ainsi que les règles indiquées dans le présent code. Il convient également de prendre les précautions suivantes, le cas échéant :

1. Lorsque le travail ne requiert pas une surveillance constante de la part de l'utilisateur, des mesures doivent être prises pour empêcher toute personne non autorisée d'avoir accès au matériel.
2. Les membres du personnel ne doivent pas exposer quelque partie du corps que ce soit au faisceau primaire. Si l'alignement des accessoires nécessaires à l'analyse requiert l'utilisation d'un faisceau de rayons X ouvert, des précautions particulières doivent être prises pour réduire ou empêcher l'exposition des extrémités et d'autres parties du corps au rayonnement. Il convient alors d'utiliser des pinces à long manche ou des dispositifs de télémanipulation, un courant du tube radiogène de faible intensité et des définisseurs de faisceau fluorescents plus sensibles au rayonnement.
3. Il se peut qu'il soit nécessaire, dans certains cas, d'effectuer des travaux d'entretien avec des champs de rayonnement parasite dépassant la limite réglementaire (0,5 mR [kerma de l'air ~ 4,39 µGy] par heure). Toutes les mesures doivent être prises alors pour réduire au minimum l'exposition des organes ou des parties du corps susceptibles d'être atteints, de façon à réduire au minimum la probabilité de risques à long terme. Les limites d'équivalent de dose maximales admissibles recommandées par la CIPR (annexe I) ne doivent pas être dépassées, quelle que soit la tâche à accomplir par le personnel d'entretien.

   Une règle pratique, basée sur un travailleur occupé effectuant, en moyenne, une tâche d'entretien par semaine dans les conditions décrites ci-dessus, consiste à supposer que chaque travailleur recevrait 1/50 de la limite de dose annuelle admissible par semaine. Cela signifie un niveau de référence hebdomadaire en milieu de travail de 10 mSv (1000 mrem) pour les mains et d'autres organes dans la poitrine et dans la tête, à l'exception du cristallin de l'oeil pour lequel la limite serait de 3 mSv (300 mrem). **Néanmoins, toutes les mesures doivent être prises pour réduire la radioexposition.**
4. Le bon état et le bon fonctionnement de tous les vêtements et dispositifs de protection, y compris les appareils de contrôle radiologique, doivent être vérifiés régulièrement. Les résultats des vérifications doivent être consignés.

3.7 Surveillance de l'exposition individuelle

Les dosimètres individuels servent à mesurer les doses reçues en milieu de travail. Ils donnent ainsi la possibilité de prendre les précautions appropriées pour limiter les occasions futures d'exposition au rayonnement de manière que les doses maximales admissibles indiquées dans l'annexe 1 ne soient pas dépassées. En ce qui concerne l'application générale du présent code de sécurité, les utilisateurs et les personnes chargées de l'entretien sont considérés comme des travailleurs exposés aux radiations et les limites applicables sont indiquées dans la colonne 2 du tableau présenté dans l'annexe I.

Selon le type d'appareil d'analyse aux rayons X, il se peut qu'il soit nécessaire de surveiller les doses reçues aux extrémités en plus des doses au corps entier. Pour les mesures des doses reçues aux extrémités, nécessaires lorsque le travailleur doit procéder à un alignement en présence d'un faisceau de rayons X ouvert et lorsqu'il doit utiliser un système susceptible de provoquer une irradiation des extrémités, le travailleur doit porter au moins deux moniteurs au doigt, sur la main la plus proche du faisceau; l'un des moniteurs sera porté sur la surface dorsale du doigt et l'autre sur la surface palmaire, afin de permettre la détection d'expositions dues à des faisceaux étroits. En ce qui concerne la mesure de la dose reçue par le corps entier, le dosimètre doit être porté sur la poitrine lorsque le travail s'effectue à hauteur de la table, afin de permettre une estimation de la dose reçue par les organes situés dans la poitrine et éventuellement dans la tête; sinon, le dosimètre peut être porté à la taille. Les dossiers de dosimétrie doivent indiquer séparément les doses cumulatives reçues par les extrémités et par le corps entier, le cas échéant, afin de permettre un meilleur contrôle des doses qui se rapprochent des limites admissibles respectives.

C'est l'organisme de réglementation en matière de radioprotection approprié qui doit décider de la nécessité du port de dosimètres individuels, en se basant sur les résultats des contrôles et sur le type de matériel utilisé. D'après les blessures subies dans le passé, la meilleure protection contre la radioexposition du corps consiste à installer un blindage et à utiliser un appareil de contrôle radiologique sur le lieu de travail pendant les procédures d'alignement et de réglage, ainsi qu'après toute modification apportée à l'appareil d'analyse ou à ses accessoires. Les dosimètres individuels doivent être utilisés à des fins de confirmation et non dans le but de réduire l'exposition.

Les dossiers de dosimétrie doivent être conservés sur place pendant au moins 5 ans après qu'un utilisateur a fini de travailler avec le matériel.

Bibliographie

1. Conseil du Trésor du Canada. *Manuel de la sécurité et de la santé au travail.* Ottawa : Centre d'édition du gouvernement du Canada. 1989.

2. Ministère du Travail. *Hygiène et sécurité au travail – Règlement du Canada.* Ottawa : Imprimeur de la Reine; Gazette du Canada; Statuts révisés du Canada, Chapitre L-1; (DORS/86-304); 1984.

3. Commission internationale de protection contre les radiations. *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.* Oxford : Pergamon Press; ICPR Publications 60; 1991.

4. Ministère de la Santé nationale et du Bien-être social. *Loi sur les dispositifs émettant des radiations.* Ottawa : Imprimeur de la Reine; Statuts révisés du Canada, Chapitre 34, supplément 1; 1984.

5. Ministère de la Santé nationale et du Bien-être social. *Mesures de sécurité pour le choix d'installations et l'utilisation d'équipement de diffraction à rayons X.* Ottawa, Ontario : Direction de l'hygiène du milieu; Code de sécurité 19; 84-EHD-111; 1984.

6. Ministère de la Santé nationale et du Bien-être social. *Règlement sur les dispositifs émettant des radiations.* Ottawa : Imprimeur de la Reine; Gazette du Canada; Annexes I et II; 1981.

7. Maharaj, H.P. Safety considerations and recommendations for analytical x-ray equipment based on a review of survey data. *Health Physics.* **66**:463-471; 1994.

8. Masse, F.X., Contu-Reilly, J., Galanek, M., Ducatman, A. The need for additional warning in X-ray diffraction equipment : a shutter failure incident. *Health Physics.* **58**:219; 1990.

9. More, T.M., Britain, R.G. Corrective action program for a malfunctioning commercial x-ray diffraction shutter system. *Health Physics.* **22**:107-108; 1972.

10. Maharaj, H.P. Response of the Victoreen 440 RF/C and the Rad Owl R0-1 survey meters to low energy photons (< 66 keV) for narrow beam geometries. *Radiat. Prot. Dosimetry.* **30**:129-133; 1990.

Annexe I
Limites d'équivalent de dose maximales admissibles recommandées pour les rayonnements ionisants

En radioprotection, on groupe les personnes selon deux catégories : les travailleurs exposés aux radiations* et le public en général. La première catégorie regroupe les personnes qui sont exposées à un rayonnement ionisant dans l'exercice de leurs fonctions, à l'exclusion des rayonnements utilisés à des fins médicales et du rayonnement naturel. La deuxième catégorie regroupe toutes les personnes qui ne sont pas des travailleurs exposés aux radiations. Le tableau suivant résume les limites d'équivalent de dose recommandées par la CIPR en 1990 pour les rayonnements ionisants.(3)

	Équivalent de dose maximal admissible	
	Limites annuelles[a]	
Organe ou tissu touché	Travailleur exposé aux radiations[b]	Membre du public
Tout le corps	20 mSv[c]	1 mSv
Cristallin	150 mSv	15 mSv
Peau (1 cm^2)	500 mSv	50 mSv
Tout organe	500 mSv	

a Ces limites ont pour but d'aider à éviter les effets déterministes en maintenant les doses sous le seuil approprié et à réduire les effets stochastiques à des niveaux acceptables en prenant toutes les mesures raisonnables pour diminuer les doses. Pour plus de détails, consulter le document de référence, CIPR 1991.(3)

b Dans le cas des travailleuses exposées aux radiations, dès qu'une grossesse est déclarée, le foetus doit être protégé. Durant le reste de la grossesse, la limite d'équivalent de dose est de 2 mSv à la surface de l'abdomen pour l'exposition externe et, pour l'ingestion de radionucléides, la limite est fixée à 1/20 de l'absorption annuelle admissible. Si une femme est exposée à la fois à des sources internes et externes, les deux limites s'appliquent séparément et la limite totale ne doit pas dépasser 1 mSv (le fœtus est alors considéré comme un membre du public).

c Dans des circonstances spéciales, des équivalents de dose allant jusqu'à 50 mSv en une seule année peuvent être autorisés. Cependant, la CIPR recommande une limite totale de 100 mSv sur une période de cinq ans. Cela correspond à une limite annuelle moyenne de 20 mSv a^{-1}.

* Aux fins du présent code, les utilisateurs et les personnes chargées de l'entretien du matériel d'analyse aux rayons X sont considérés comme des travailleurs exposés aux radiations.

Annexe II
Recommandations relatives aux instruments de contrôle radiologique

Les instruments de contrôle radiologique qui utilisent l'ionisation dans un gaz sont toujours parmi les instruments les plus couramment employés pour mesurer les niveaux de rayonnement à proximité des appareils d'analyse aux rayons X. Les recommandations générales ci-dessous visent à faciliter le choix d'un instrument et l'interprétation des mesures.

1. Pour qu'un rayonnement ionisant puisse être détecté et son niveau mesuré, il doit pénétrer dans la partie sensible du détecteur. Les rayonnements alpha, bêta, gamma, X et neutronique sont des rayonnements ionisants qui possèdent différents pouvoirs de pénétration. Cela signifie qu'un instrument conçu pour détecter des particules alpha, par exemple, ne conviendra pas pour détecter des rayonnements gamma et X. Pour les instruments qui ne sont pas conçus spécifiquement pour mesurer des rayonnements X, mais qui servent à mesurer des rayonnements alpha, bêta et gamma, il convient de vérifier dans les spécifications du fabricant si l'instrument mesurera les rayonnements X utilisés dans les appareils d'analyse aux rayons X.
2. Un instrument donné conçu pour effectuer des mesures quantitatives répondra différemment à diverses énergies d'un rayonnement donné. Cela signifie qu'il faut connaître le comportement de l'instrument et en tenir compte. Deux instruments de même modèle ne donneront pas nécessairement les mêmes résultats quantitatifs (à cause de différences internes dans les électrodes, les champs électriques, le bruit, les composantes, etc.); la différence pourrait être beaucoup plus grande que s'il s'agissait de deux modèles différents. Ainsi, pour comparer les débits d'exposition en un point donné à l'aide de détecteurs différents, il convient d'étalonner les détecteurs en fonction de l'énergie de rayonnement à laquelle les mesures sont effectuées.

3. Pour obtenir des résultats fiables, il convient d'étalonner l'instrument dans la gamme d'énergie prévue. Cela signifie que, si l'on veut quantifier le rayonnement, on doit corriger l'indication de l'instrument en fonction du facteur d'étalonnage énergétique correspondant.
4. La plage de l'instrument doit être compatible avec la plage d'expositions à mesurer. Ainsi, l'instrument doit pouvoir mesurer des niveaux suffisamment faibles pour nous permettre de déterminer si l'appareil d'analyse aux rayons x respecte la limite réglementaire (0,5 mR [kerma de l'air ~ 4,39 μGy] par heure à 5,0 cm de toute surface extérieure de l'appareil).
5. L'étalonnage de l'instrument est effectué dans des conditions bien définies et reproductibles dans un laboratoire de normalisation, ou dans un laboratoire accrédité ou affilié à un tel laboratoire. Sur le terrain, par contre, le rayonnement peut provenir de directions différentes et souvent inconnues. Il convient donc d'utiliser un instrument à faible dépendance directionnelle.
6. Il convient de faire extrêmement attention si l'on utilise un gros détecteur avec des faisceaux étroits en raison des différences dans la réponse en fonction de l'aire.[10] Une méthode pratique consiste à déterminer la distance à partir de la source où le champ est suffisamment large pour envelopper la partie détectrice de l'instrument, à mesurer le débit d'exposition en ce point, puis à utiliser la loi de l'inverse du carré pour estimer le débit d'exposition à la source (il devrait être plus élevé). Le résultat ainsi obtenu permet des comparaisons relatives qui pourront mettre en évidence l'existence d'un risque de radioexposition; autrement dit, l'instrument donne des indications qualitatives. Une autre solution consiste à utiliser un détecteur suffisamment petit pour que les variations du champ par rapport à ses propres dimensions soient négligeables. On peut utiliser un tel détecteur pour mesurer quantitativement l'exposition au rayonnement à condition d'appliquer le facteur d'étalonnage approprié correspondant à l'énergie de rayonnement à laquelle les mesures sont effectuées.
7. Les compteurs de Geiger Mueller (GM) peuvent être sensibles à la lumière naturelle, au rayonnement UV et aux champs de radiofréquences, et ils peuvent indiquer zéro (paralysie) en présence de débits d'exposition ou de taux de comptage élevés. Par conséquent, lorsqu'on effectue des mesures avec un compteur GM, il convient de vérifier que ces facteurs n'interviennent pas. Les compteurs GM utilisés pour les contrôles radiologiques doivent être allumés avant leur introduction dans la zone à contrôler, au cas où le champ de rayonnement serait si intense

qu'il provoquerait la paralysie du détecteur (on aurait alors une fausse indication). Les compteurs GM utilisés pour les rayons X et le rayonnement gamma inférieurs à 100 keV sont très sensibles à l'énergie et, à moins que l'on ne dispose d'un étalonnage correspondant au spectre d'énergie présent, on ne doit utiliser ce type de compteur qu'à des fins de détection. À cause de sa petite taille et de sa grande sensibilité aux rayons X, en comparaison avec une chambre d'ionisation, le tube compteur à fenêtre en bout est très utile pour la détection de niveaux élevés de rayonnement à proximité du matériel; le détecteur de type galette présente l'avantage de permettre à l'utilisateur de placer la tête de la sonde dans le faisceau de rayons X sans avoir à exposer ses mains. Enfin, il ne faut pas utiliser les compteurs GM pour mesurer un rayonnement à impulsions brèves de forte intensité car le niveau pendant l'impulsion peut être suffisamment élevé pour que l'instrument réponde dans sa plage non linéaire, ce qui se traduirait par des indications trop faibles.
8. Les instruments doivent être en bon état et il convient d'en vérifier régulièrement le fonctionnement et le rendement.

Annexe III
Organismes provinciaux responsables de la radioprotection

Alberta
Alberta Radiation Health Service
Occupational Health & Safety
4th Floor, Donsdale Place
10709 Jasper Avenue
Edmonton (Alberta)
T5J 3N3
Tél. : (403) 427-2691
FAX : (403) 427-5698

Colombie-Britannique
Worker's Compensation Board of British Columbia
P.O. Box 5350 Stn Terminal
Vancouver (Colombie-Britannique)
V6B 5L5
Tél. : (604) 231-8374 (sans frais dans la C.-B. 1-888-621-7233)
FAX : (604) 279-7410

Île-du-Prince-Édouard
Division of Environmental Health
Department of Health and Social Services
P.O. Box 2000
Charlottetown (Î.-P.-É.)
C1A 7N8
Tél. : (902) 368-4970
FAX : (902) 368-5969

Manitoba
Radiation Protection Service
Department of Medical Physics
Manitoba Cancer Foundation
100 Olivia Street
Winnipeg (Manitoba)
R3E 0V9
Tél. : (204) 787-2211
FAX : (204) 775-1684

Nouveau-Brunswick
Services de radioprotection
Ministère de la Santé et des Services communautaires
2e étage, Place Carleton
Rue King
B.P. 5100
Fredericton (Nouveau-Brunswick)
E3B 5G8
Tél. : (506) 453-2360
FAX : (506) 453-2726

Nouvelle-Écosse
Department of Health and Fitness
P.O. Box 488
Station "M"
Halifax (Nouvelle-Écosse)
B3J 2R8
Tél. : (902) 424-4077
FAX : (902) 424-0558

Ontario
Service de radioprotection
Ministère du travail de l'Ontario
81, chemin Ressources
Weston (Ontario)
M9P 3T1
Tél. : (416) 235-5922
FAX : (416) 235-5926

Québec
Service de radioprotection
Ministère de l'Environnement
Gouvernement du Québec
6072 est, rue Sherbrooke
Montréal (Québec)
H1T 3X9
Tél. : (514) 873-1978
FAX : (514) 873-8953

Saskatchewan
Radiation Safety Unit
Department of Human Resources
Labour and Employment
Saskatchewan Place
1870 Albert Street
Regina (Saskatchewan)
S4P 3V7
Tél. : (306) 787-4486
FAX : (306) 787-2208

Terre-Neuve
Medical and Hygiene Services
Employment and Labour Relations
Fall River Plaza
P.O. Box 8700
St. John's (Terre-Neuve)
A1B 4J6
Tél. : (709) 729-2644
FAX : (709) 729-2142

Territoires du Nord-ouest
Occupational Health and Safety Division
Safety and Public Services
Government of the Northwest Territories
P.O. Box 1320
Yellowknife (T. N.-O.)
X1A 2L9
Tél. : (403) 920-8616
FAX : (403) 873-7706

Yukon
Consumer, Corporate and Labour Affairs Branch
Department of Justice
P.O. Box 2703
Whitehorse (Yukon)
Y1A 2C6
Tél. : (403) 667-5450
FAX : (403) 667-3609